



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경영학석사학위논문

시스템 다이내믹스를 이용한 유연탄
가격 예측 고도화에 관한 연구

System Dynamics for Advancement Price
Estimation System of Bituminous Coal

2014년 12월

서울대학교 대학원

경영학과 생산관리 전공

성원우

시스템 다이내믹스를 이용한 유연탄 가격 예측 고도화에 관한 연구

지도 교수 김 수 욱

이 논문을 경영학석사 학위논문으로 제출함

2014년 12월

서울대학교 대학원

경영학과 생산관리 전공

성 원 우

성원우의 경영학석사 학위논문을 인준함

2014년 12월

위 원 장 양 홍 석 (인)

부 위 원 장 최 강 화 (인)

위 원 김 수 욱 (인)

국문 초록

6대 전략광물 수출입 동향 보고서에 따르면 유연탄 수입은 2002년 이후로 가장 높은 금액과 중량을 차지하는 가장 중요한 광물이다. 최근 국제 중국, 인도 등 아시아 국가들의 경제가 지속적으로 성장함에 따라 2000년대 후반부터 이들 국가들의 석탄 수입량을 급격히 증가하였고, 이에 따라, 국제시장을 선도하는 시장이 유럽시장에서 아시아시장으로 전환되었다. 본 연구에서는 국내 발전회사들이 직접적으로 구매하고 있으며, 유연탄 수입시장에서 높은 비중을 차지하고 있는 연료탄의 구매 가격을 시스템 다이내믹스 방법을 활용하여 모형화하였다. 이를 위해 본 연구에서는 국제 유연탄 시장에 영향을 미치는 요소들을 정의하고 시스템 다이내믹스 모델을 활용하여 이들의 관계를 규명하여 국제 유연탄 가격을 예측할 수 있는 모형을 수립하고자 한다

키워드 : 유연탄, BDI지수, 시스템 다이내믹스, 인과지도

학 번 : 2013-20489

목 차

국문초록	i
목차	ii
그림 목차	iii
표 목차	iv
1. 서론	1
2. 문헌연구	4
3. 요인 도출	6
3.1 수요변화 driver 파악	6
3.2 수요변화 driver 정의	15
3.3 Value driver tree 분석	21
3.4 Key driver 정의	24
4. 연구방법론	27
4.1 시스템 다이내믹스	27
5. 모델링과 시뮬레이션	31
5.1 변수 정의	31
5.2 시스템 다이내믹스 모델	31
6. 결과	38
7. 결론	41
참고 문헌	42
영문 초록	43

그림 목차

<그림 1> 6대 전략광물 수입비중	3
<그림 2> GCI와 호주환율의 상관관계	8
<그림 3> GCI와 유가의 상관관계	9
<그림 4> GCI와 구리가격의 상관관계	9
<그림 5> GCI와 BDI의 상관관계	10
<그림 6> GCI와 중국생산비의 상관관계	10
<그림 7> 세계 각국 유연탄 생산량 예측	12
<그림 8> 6대 전략광물 수출입 금액 및 중량	14
<그림 9> 유연탄, 철, 동의 수입단가지수 및 국제가격지수	15
<그림 10> 수요변화 driver 도출	16
<그림 11> Value driver tree 분석	21
<그림 12> Key driver 선정	26
<그림 13> 시스템 다이내믹스 개요	28
<그림 14> 의사결정 지점에 관한 시스템 다이내믹스 모형, (김동환, 2011)30	
<그림 15> Casual Loop Diagram	33
<그림 16> 시스템 다이내믹스 모델 - 각국 수출량	34
<그림 17> 시스템 다이내믹스 모델 - 각국 전기생산량	35
<그림 18> 시스템 다이내믹스 모델 - 타에너지변동 및 세계경제변동36	
<그림 19> 시스템 다이내믹스 모델 종합	37
<그림 20> Vensim 시뮬레이션 결과	38
<그림 21> EXCEL 시뮬레이션 결과	39

표 목차

<표 1> 유연탄 가격과 결정변수가 상관관계	7
<표 2> Bloomberg data	17
<표 3> 일반 연구방법론과 시스템 다이내믹스 방법론의 차이	29
<표 4> 변수 정의	31
<표 5> 종속변수와 독립변수간 회귀식 - 각국 수출량	35
<표 6> 종속변수와 독립변수간 회귀식 - 각국 전기생산량	36
<표 7> 종속변수와 독립변수간 회귀식 - 타에너지변동 및 세계경제변동	37
<표 8> GCI 가격결정 회귀분석식	37
<표 9> 시뮬레이션 결과 및 절대오차	39

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성

최근 아시아 국가들의 석탄 수입 증가로 인해 유연탄 시장이 빠르게 변하고 있다. 기존의 유연탄 시장을 선도하던 유럽시장의 수입 물량이 2007년 이후 감소 추세를 보이고 있으며, 아시아 시장은 생산, 소비, 수출, 수입 모든 방면에서 빠른 증가세를 보이고 있다. 세계 석탄 수입에서 아시아 지역이 차지하는 비중은 2000년 51%에서 2010년 67%로 크게 증가하였으나, 유럽이 차지하는 비중은 33%에서 21%로 감소하였다. 이는 2008년 미국의 리먼사태로 인해 유럽의 경기가 침체되었던 반면 아시아는 개발도상국의 경제적 성장이 두드러짐에 의한 것으로 판단된다. 이에 따라 아시아지역의 유연탄 주요 생산국이었던 호주와 인도네시아의 중요성이 커지고 있으며, 미국 등 여러 국가에서도 아시아권 시장 수요를 점하기 위한 움직임을 보이고 있다.

국제 유연탄 시장은 중장기적 관점에서 그 생산과 수요가 빠르게 증가하고 있지만, 그 가격 변동성이 매우 심하다는 특징을 보여준다. 유연탄의 가격은 주요 수출국의 자연재해와 정책 등에 의해서도 큰 영향을 받으며, 또한 해상운임이 수입비용에서 큰 비중을 차지한다. 호주의 대폭 우, 인도네시아와 베트남의 유연탄 수출 제한, 일본의 원전 사고 등 다양한 요인에 의해 유연탄 수출입 환경이 영향을 받는다. 중국, 인도네시아 등에서는 자국 자원의 보호 차원에서 석탄의 수출량을 정책적으로 제한하고 있으며, 인도네시아 정부는 2014년부터 5,600kcal/kg 이하의 수출을

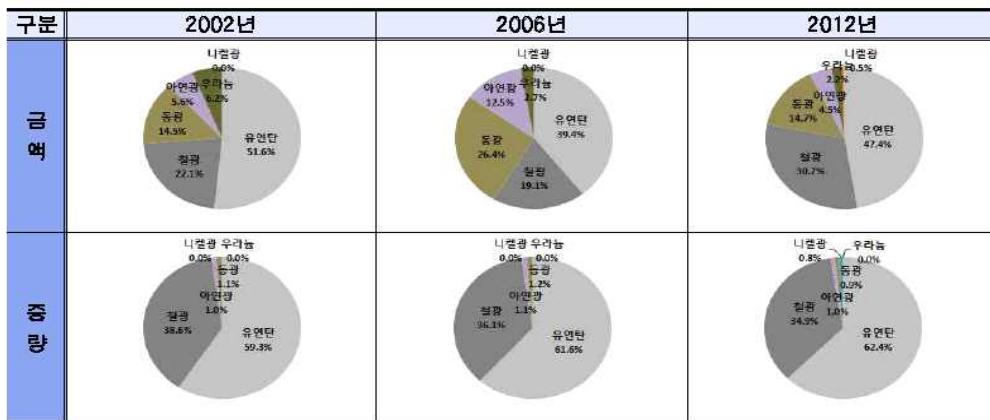
제한함으로써 저열량탄의 국내 사용을 유도하고 수출탄의 가격을 높이고자 하였다. 또한 건화물선의 해상운임지수인 BDI(Baltic Dry Index)는 2008년 5월 최고수준을 기록한 뒤 7개월 뒤에는 5%수준으로 급락하는 등 매우 심한 변동성을 보이고 있다. 이러한 변동성에 적절히 대응하지 못할 경우, 유연탄을 직접 수입 소비하는 기업 뿐 아니라 국가적으로도 매우 큰 손실이 발생할 수 있다.

전세계 유연탄 소비는 중국, 미국, 인도, 일본의 순으로 이루어지고 있으며, 한국은 전세계 유연탄의 약 2% 정도를 소비하는 8번째 소비국이다. 반면에, 전세계 유연탄 수입은 일본, 중국, 한국, 대만, 인도의 순으로 이루어지고 있으며, 한국은 전세계 유연탄 수입의 약 13%를 차지하는 3번째 수입국이다. 또한 한국관세무역개발원에서 발표하는 6대 전략광물 수출입 동향 보고서에 따르면 6대 전략광물 중 유연탄 수입은 2002년 이후로 가장 높은 금액과 중량을 차지하는 가장 중요한 광물이다. 이렇듯 유연탄이 국가적으로 차지하는 중요도와 심한 변동성을 보이는 국제 정세를 고려할 때, 정확한 가격 예측을 통해 공급의 안정화를 꾀하고자 하는 노력은 매우 타당하다. 가격의 예측력을 높임으로써 구매전략을 세울 수 있으며, 이를 통해 비용을 절감하고 수급 안정화를 도모할 수 있다.

본 연구에서 '유연탄가격을 어떻게 예측할 것인가'와 '예측이 어느 정도 정확할 것인가'에 관해 실증적으로 분석하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 국제 유연탄 시장에 영향을 미치는 요인들을 정의하고 시스템 다이내믹스 모델을 이용해 가격 예측 시스템의 매커니즘을 체계적으로 구성해본다. 그 후 시뮬레이션을 통해 예측력을 검증하도록 한다. 유연탄은 크게 연료탄과 원료탄으로 구분할 수 있는데, 두 탄종의 거래 형태가 다르다는 점과, 전체 석탄 시장에서 원료탄이 차지하는 비율이 20%에

불과하다는 점에 기반하여 본 연구에서는 연료탄에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다.

<그림 1> 6대 전략광물 수입비중



제 2 장. 문헌 연구

국내외에서 수급 예측 또는 가격 예측에 대한 시스템 다이내믹스 기법의 적용에 대한 논문은 의외로 많지 않으며, 곽상만 et al(2002) 정석재 et al(2005) 정도가 눈에 띈다. 또 철광석과 니켈에 대해 시스템 다이내믹스 기법을 이용해 수급 예측에 대해 분석한 정재현(2008), 정재현(2009) 정도가 있다.

정재현(2009)는 철광석 시장을 수요와 공급, 그리고 해상운임이 철광석 시장 가격을 결정하는 구조로 모형을 설명하였다. 수요와 공급은 다시 비선형적 방식으로 철광석 시장 가격에 의해 영향을 받는 모형구조를 수립하였다. 이를 통하여 철광석의 월별 현지 시장 가격에 대한 분석을 수행할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

철광석의 수요는 조강생산에 직접적으로 영향을 받으며, 조강생산은 주요 국가들에 의해 발생하기 때문에 세계 철광석 월별 수입량은 중국, 태국, 한국, 일본, 유럽의 월 조강생산에 의해 결정된다. 주요 철광석 생산국은 호주, 브라질, 인도이고 이들이 전세계 수출량의 약 80% 수준을 담당하고 있으므로, 월별 철광석 공급량은 호주, 브라질, 인도, 기타 국가의 수출 합계로 모형화였다. 단, 자국의 한계광산가격이 현재의 철광석가격보다 높은 경우에 철광석 공급사측에서 계획된 생산이 가격에 미치지 못하는 비율에 비례하여 감소하는 것으로 가정하고 모형화하였다. 마지막으로, 철광석은 수송 운임이 철광석 공급 원가에서 차지하는 비중이 지역에 따라서 약 30~50% 정도 차지하기 때문에 철광석 가격 예측 모형에 반영하였다.

정재현(2008)은 니켈 수급 및 가격 모형을 구성하는데 있어서 니켈 수요에 영향을 주는 모형과 니켈 공급에 영향을 주는 모형을 수립한 후, 니켈 가격이 세계 니켈 수요/니켈 재고 비율과 환율에 의해 결정되는 모형을 개발하였다. 지역별 니켈 수요는 니켈 가격, 지역별 스테인리스 생산량, 산업생산지수에 의해 영향을 받는다. 시스템 다이내믹스 모델에서 니켈 재고는 수요와 공급에 의해서 자동적으로 생성이 되며 다시 이 재고와 수요에 의해서 니켈 재고 비율이 결정된다.

수요는 일반적으로 스테인리스 생산용 니켈과 스테인리스 생산과 관련이 없는 산업용 니켈로 구분되기 때문에 두 가지를 구분하여 모델에 반영하였다. 주요 니켈 수요국은 미국, 유럽, 일본, 한국, 중국, 대만이며 기타 수요량은 일정한 비율을 곱하여 산정하였다. 니켈 공급은 소수의 회사와 국가가 점유하고 있는 독과점 구조가 가능하기 때문에, 분기별 니켈 공급은 니켈 잠재 공급에 니켈 공급 독점으로 인한 의도적인 감산, 생산차질에 의한 축소를 포함하여 모형화하였다. 모형은 통계적 정확도를 높이기 위해서 각 지역의 니켈 수요, 스테인레스 생산, 니켈 가격과 수요/재고 회전율, 환율 등의 관계식은 가장 설명력이 높은 회귀방정식으로 사용함

이상에서 살펴본 바와 같이, 철광석과 니켈의 경우 기본적인 원자재의 수요와 공급을 중심으로 가격 예측 모형을 수립하였으며 주요 국가별 수요량과 공급량을 기반으로 전세계 수요량과 공급량을 추정하였다. 또한, 수요와 공급 이외에 가격 결정에 핵심적인 영향을 미치는 요소와 시장 구조 등을 고려하여 모형을 수립하였음을 알 수 있다.

제 3 장. 요인 도출

모델링에 앞서 유연탄의 가격에 영향을 미치는 요인을 도출하였다. 기존에 타 문헌에서 검토된 요인을 기준으로 하여 유연탄 가격과의 상관 관계를 분석하였고, 추가적인 요인을 검토하였다. 수요 변화 요인들에 대한 재검토는 (1)수요 변화 Driver 파악, (2)수요 변화 Driver 정의, (3)VDT분석, (4)Key Driver 선정의 4단계로 추진하였다.

3.1 수요변화 driver파악

유연탄 가격에 영향을 미치는 모든 요인들을 파악하였다. 기존 시스템의 구성 요인 외에 문헌 연구, 인터뷰 등을 추가로 실시하여 수요 변화 Driver Pool을 확보하였다. 이를 바탕으로 유연탄 가격과 Driver 간에 영향을 미치게 되는 Rational을 정확하게 파악한다. 수요 변화 Driver 파악을 위해서 기존 수요예측 모델의 고려 요소 분석, 산업/시장 분석 Report 연구, 국/내외 벤치마킹, 전문가 인터뷰를 실시하였다.

1) 기존 수요 예측 모델의 고려 요소 분석

호주 환율, Brent 유가, 국제 구리가격, 중국 생산비, Baltic Dry Index 등의 요인들을 유연탄의 가격 측면에서 재검토 함으로서 기존 모델에서 반영한 수요예측 요소에 대한 적합도를 검증하였다. 또한 국내/외 유탄 산업 및 발전 산업 시장 분석 및 예측 보고서, 해당 산업 및 유관 산업의 Supply Chain 및 Value Chain 분석 보고서, 거시 경제 동향 분석 및 예측 보고서 등을 검토하여 새로운 요인을 도출하였다. 유연탄 관련 사업으로서 국내/외 석탄 회사들의 수요예측 사례, 및 그 외 발전

산업관련 국내/외 발전사 유탄가 수요예측 사례 등을 검토하였다. 이를 바탕으로 국내/외 유연탄 산업 및 발전 산업 전문가 인터뷰(Delphi 인터뷰, FGI (Focus Group Interview), 수요 예측 유사 기능 파악)를 실시하였다.

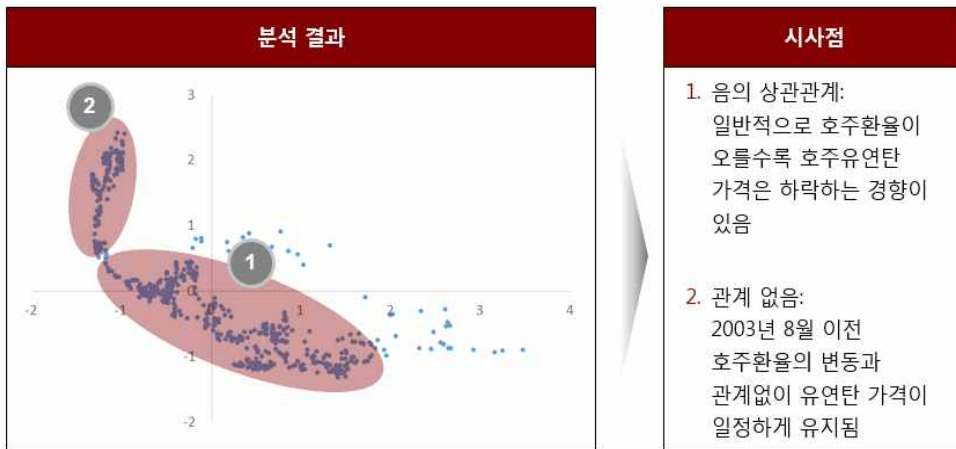
유연탄 가격과 5가지 결정변수간의 상관관계를 분석한 결과 구간별로 상관관계가 존재하는 구간과 존재하지 않는 구간이 구분되는 것으로 나타났다.

<표 1> 유연탄 가격과 결정변수가 상관관계

결정변수		표준화 상관계수	해 석
호주환율	2003년 9월 이후	-0.68	❖ 음의 상관관계 존재
	2001년 1월 ~ 2003년 8월	0.67	❖ 상관관계 없음
유가	2007년 9월 ~ 2009년 1월 2009년 6월 이후	0.57	❖ 양의 상관관계 존재
	2003년 5월 ~ 2007년 8월 2009년 2월 ~ 2009년 5월	-0.40	❖ 상관관계 없음
구리가격	2006년 2월 이전, 2007년 10월 이후 2006년 12월 ~ 2007년 3월	0.89	❖ 강한 양의 상관관계 존재
	2006년 3월 ~ 2006년 11월 2007년 4월 ~ 2007년 10월	0.33	❖ 상관관계 없음
BDI지수	2008년 10월 이전	0.78	❖ 강한 양의 상관관계 존재
	2008년 10월 이후	-0.17	❖ 상관관계 없음
중국생산비	2007년 이후	0.58	❖ 양의 상관관계 존재

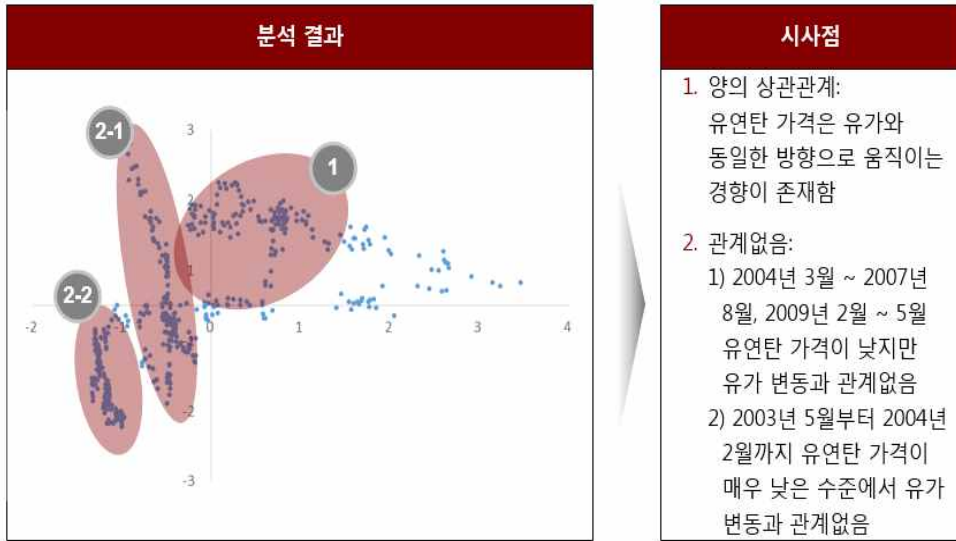
유연탄가격은 일반적으로 호주환율과 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 호주환율이 오를수록 유연탄가격은 하락하는 경향이 있다.(2003년 9월 이후)

<그림 2> GCI와 호주환율의 상관관계



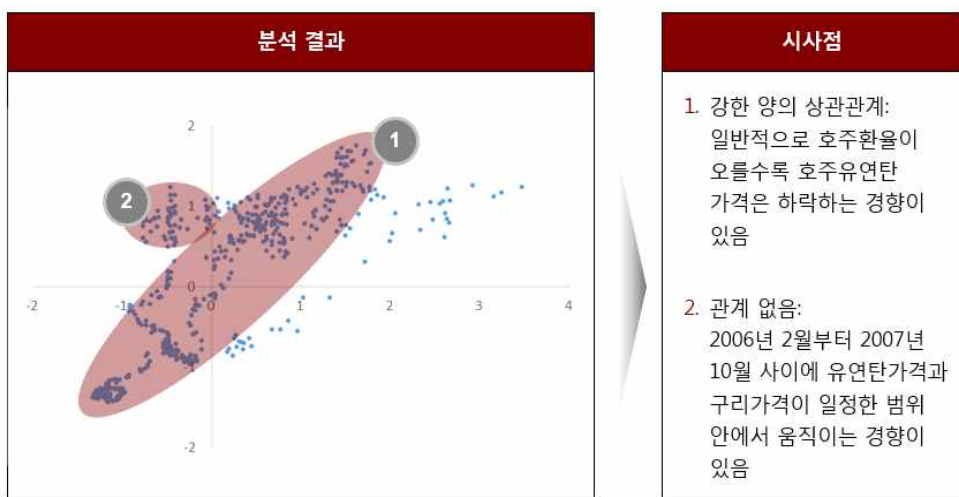
유연탄가격과 유가간에는 양의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났으나, 특정 시기에서는 유가 변동과 관계없이 유연탄가격이 일정하게 유지된다.

<그림 3> GCI와 유가의 상관관계



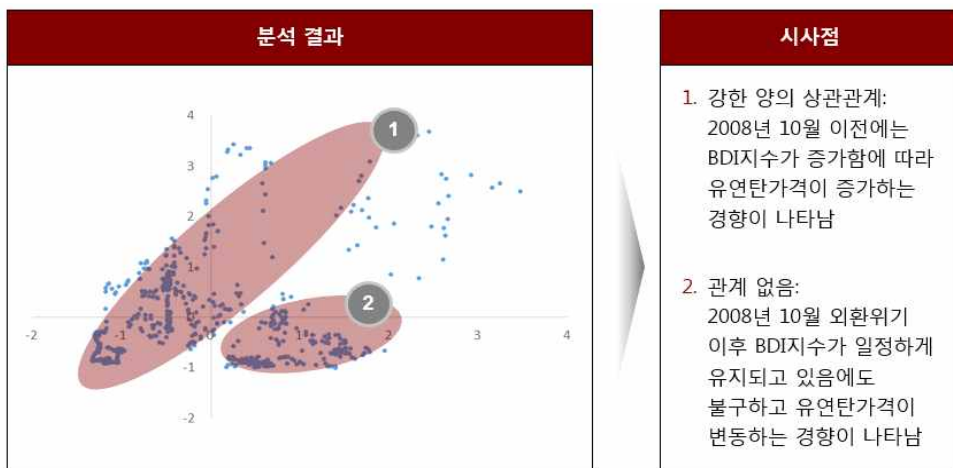
유연탄가격과 구리가격 사이에 강한 양의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났으나, 2006년부터 약 1년 6개월 동안 가격이 변동하지 않는 구간이 있었다.

<그림 4> GCI와 구리가격의 상관관계



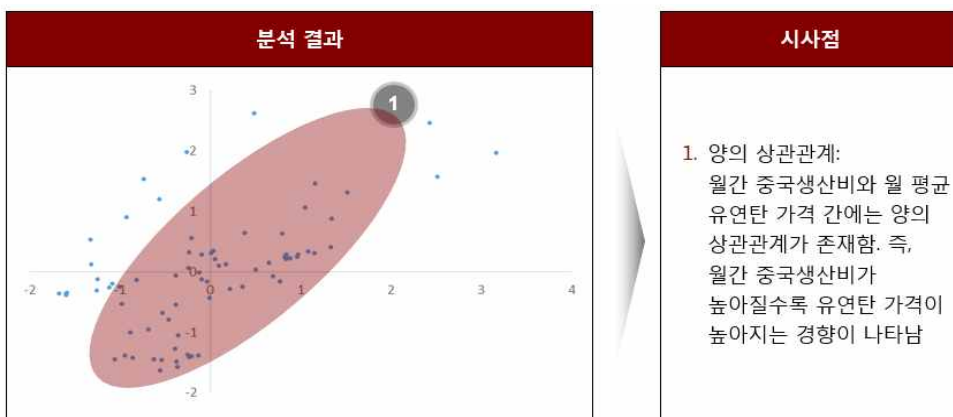
유연탄가격과 BDI지수 간에는 강한 양의 상관관계를 보이는 경향이 있으나, 2008년 외환위기 이후 BDI지수가 낮음에도 불구하고 유연탄가격이 변동하였다.

<그림 5> GCI와 BDI의 상관관계



유연탄가격과 중국생산비 간에는 월 단위 기준으로 강한 양의 상관관계가 나타났다.

<그림 6> GCI와 중국생산비의 상관관계



국내와 해외의 석탄회사 전문가들을 대상으로 인터뷰를 실시하여 유연탄 가격에 중요하게 영향을 미치는 요인들을 파악하고 이를 모형에 반영하고자 하였다.

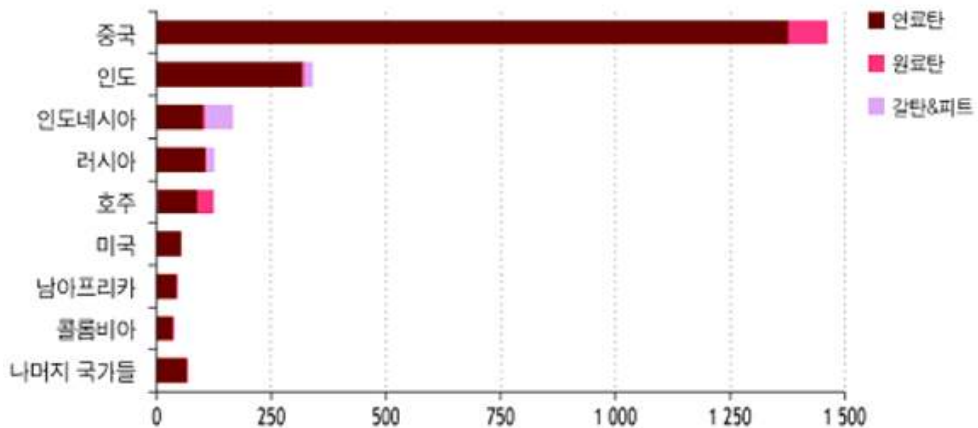
2) 산업/시장 분석 문헌 검토

국제 유연탄시장과 동향 보고서에 따르면 현재 유연탄시장은 아시아를 중심으로 수출과 수입이 증가하면서 시장 구조가 재편되고 있는 것으로 나타났다. 세계 전체 유연탄 확인매장량은 8,260억톤으로 현 생산량 수준에서 향후 122년 동안 사용할 수 있는 막대한 수준이며, 1990년대 말 고유가 시대 이후로 에너지 소비국가들의 유연탄 수요가 증가하고 있는 추세이다. 이에 비하여 호주의 대폭우로 인한 유연탄 생산 차질, 자국의 유연탄수요 급증에 따른 인도네시아와 베트남의 유연탄 수출 제한 등이 유연탄 수급 여건을 악화시키고 있다. 향후 유연탄생산은 동북아 시장의 수요 증가로 인하여 인도네시아 및 호주의 생산량 및 수출량이 지속적으로 증가할 것으로 예상되며 중국에서도 가장 크게 증가할 것으로 예상된다. 전세계 유연탄 소비는 중국, 미국, 인도, 일본의 순으로 이루어지고 있으며, 한국은 전세계 유연탄의 약 2% 정도를 소비하는 8번째 소비국이다. 전세계 유연탄 수입은 일본, 한국, 대만, 인도의 순으로 이루어지고 있으며, 한국은 전세계 유연탄 수입의 약 13%를 차지하는 2번째 수입국이다.

2030년까지의 국가별 유연탄 생산량 예측에서 중국은 전체의 61%를 차지하여 다른 국가들을 압도할 것으로 예상되며 인도가 2위를 차지할 것으로 예상됨 중국, 인도, 인도네시아 등 아시아 국가들의 유연탄 생산이 지속적으로 증가하는 반면, 유럽 지역의 국가들은 유연탄 생산이 감소할 것으로 예상하였다. 중국은 유연탄 순수입국과 순수출국을 오가며

세계 유연탄 시장에서 막대한 영향력을 미칠 것으로 예상된다.

<그림 7> 세계 각국 유연탄 생산량 예측



유연탄 시장구조분석 및 대응전략 보고서에 따르면, 최근의 유연탄 시장은 시장선도그룹이 유럽에서 아시아로 전환되는 구조적인 변화를 맞고 있다. 우리나라의 유연탄 수입 규모는 2010년 기준 106만톤으로 일본, 중국에 이어 세계 3위의 수준이며, 탄종별로는 연료탄이 82만톤, 원료탄 24백만톤으로 연료탄이 전체 석탄 수입의 3/4이상을 차지하고 있다. (원료탄은 제철산업에서 사용되고 있으며, 연료탄은 발전 부문에서 대부분 사용되고 있음)

최근 국제 유연탄 시장은 급격한 가격변동성을 나타낼 뿐만 아니라 중장기적인 관점에서도 구조적인 변화를 나타내고 있다.: 중국, 인도 등 아시아 국가들의 석탄 수입증가로 인하여 2008년을 기점으로 국제시장을 선도하는 시장이 유럽시장에서 아시아시장으로 전환되었다.

아시아시장으로의 수출이 미미하였던 남아공, 미국 등의 아시아 지역 진출이 현저하게 증가하고 있으며 아시아지역의 주요 공급국인 호주와

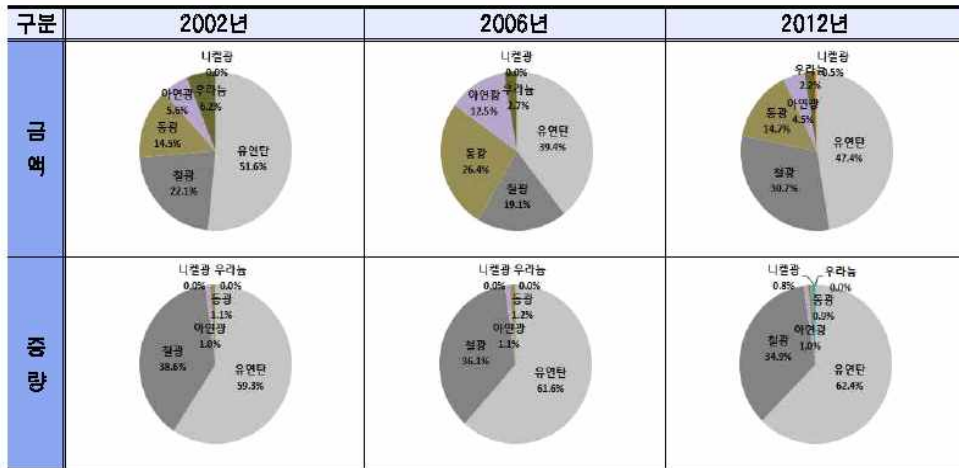
인도네시아의 중요성이 점점 증가하였다.

또한, 2011년 3월 일본의 원전사고는 중기적으로 석탄의 사용확대를 가져올 것으로나 장기적으로는 석탄 사용이 안정될 것으로 예상된다.

국제 연료탄 가격은 국가별 수입과 수출 상황에 따라 급격한 변화를 나타내고 있으며, 해상운임도 중요한 비중을 차지하고 있다. 국제 연료탄 가격은 2009년 3월 이후 중국, 인도 등 개발도상국가들의 수입수요 증가와 함께 상승세를 나타내었다. 특히, 2011년 1월에는 톤당 146달러를 넘어서는 강세를 보였다. 이는 라니냐 현상에 따른 폭우로 주요 수출국의 생산 및 수송에 차질이 발생하였으며, 북반구의 한파로 석탄 수요가 증가하였기 때문인 것으로 보인다. 그렇지만 수출국의 수해 복구, 일본의 지진에 따른 수입수요 감소 등으로 국제 석탄가격은 다시 안정화되는 추세로 접어들었다. 석탄의 수입비용에서 중요한 위치를 차지하는 해상운임은 선박건조와 해상 물동량 변화의 불일치로 가격 변화가 매우 심한 상황이다. 2012년까지는 신규 선박의 인도량이 상당한 수준으로 남아있으므로 당분간 선박운임은 낮은 수준에 머물 것으로 예상된다.

6대 전략광물 수출입 동향 보고서에 따르면 6대 전략광물 중 유연탄 수입은 가장 높은 금액과 중량을 차지하는 가장 중요한 광물이다. 2002년부터 2012년도까지 유연탄은 금액 기준 40~50% 수준, 중량 기준 60% 이상의 비중을 지속적으로 차지해오고 있다.

<그림 8> 6대 전략광물 수출입 금액 및 중량



3대 수입 광물인 유연탄, 철, 동 중에서 유연탄의 수입 가격지수는 다른 광물들에 비해 낮은 것으로 나타났다. 6대 전략광물 중 수입 상위 3개 품목의 수입가격지수를 살펴 보면, 유연탄은 국제 가격지수보다 낮은 변동성, 동은 거의 비슷한 변동성을 보이는 반면, 철은 국제 가격지수보다 큰 변동성을 보인다

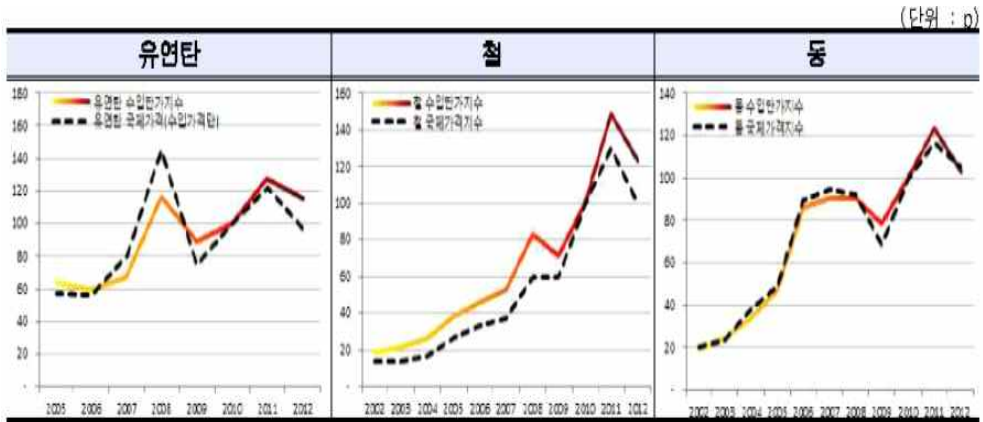
<품목별 표준편차>

유연탄: 수입가격지수 (33.7) < 국제가격지수 (44.9)

철: 수입가격지수 (43.1) > 국제가격지수 (40.1)

동: 수입가격지수 (35.2) ≅ 국제가격지수(34.4)

<그림 9> 유연탄, 철, 동의 수입단가지수 및 국제가격지수



3) 전문가 인터뷰

● 삼탄 인도네시아법인

석탄 채굴에 있어서 강우량이 매우 큰 영향을 차지한다. 특히, 비가 조금이라도 내리게 되면 차량이 지하로 내려갈 수가 없어서 석탄을 채굴할 수 없으며, 이는 바로 석탄 공급 감소로 이어진다. 2013년의 경우 세일가스의 영향으로 유연탄가격이 급격히 하락하였으며, 대체 에너지원에 대한 고려도 필요할 것으로 판단된다.

● peabody energy

석탄에 대한 수요와 공급의 불일치는 근본적으로 발생할 수밖에 없으며, 이에 따라 가격이 변동한다. 석탄을 채굴하는 과정에서 여러 가지 특성이 다른 석탄이 나오기 때문에 어떠한 석탄이 나오느냐에 따라서 가격이 올라가기도 하고 내려가기도 한다.

3.2 수요변화 driver 정의

수요변화 Driver를 파악한 결과를 바탕으로 유연탄 공급량, 유연탄 수

요량 등 12개의 수요 변화 Driver를 정의하였다. 각각의 수요 변화 Driver에 대한 설명을 정의하고, 서로간에 개념과 내용이 중복되지 않도록 조정하였으며, 각각의 Driver들을 측정할 수 있는 Indicator를 도출하여 정량적으로 기술하였다.

<그림 10> 수요변화 driver 도출

1	유연탄 공급	▪ 전세계 유연탄 공급량	5	강우량	▪ 지역별 강수량	9	타에너지 현물가격	▪ 유가, LNG, 구리, 철광석
2	유연탄 수요	▪ 전세계 유연탄 수요량	6	환율	▪ 달러 대비 국가별 환율	10	타에너지 선물가격	▪ 유가, LNG, 구리, 철광석
3	유연탄 수출	▪ 주요 국가별 유연탄 수출량	7	세계 경제	▪ 국가별 증시 변동률	11	중국 내수	▪ 중국재고량, 내수가격
4	유연탄 수입	▪ 주요 국가별 유연탄 수입량	8	선박 운임	▪ BDI수, BCI지수	12	전기 생산량	▪ 국가별 전기생산량

유연탄 공급 및 유연탄 수요에 대한 세부항목 및 Bloomberg Code, 단위 및 주기는 다음과 같다.

<표 2> Bloomberg data

No.	Driver 명		세부항목	Bloomberg Code	단위	주기
1	유연탄 공급		호주	DACPAUST Index	톤	Year
			인도네시아	DACPINDO Index		
			러시아	DACPRUSS Index		
			남아공	DACPSOUT Index		
			미국	DACPUNIT Index		
			캐나다	DACPCANA Index		
			콜롬비아	DACPCOLO Index		
2	유연탄 수요		일본	DACCJAPA Index		
			한국	DACCSKOR Index		
			대만	DACCTHAI Index		
			중국	DACCCHIN Index		
			인도	DACCINDI Index		
			동유럽	DACCCEAST Index		
			서유럽	DACCWEST Index		
3	유연탄 수출		인도네시아	IDEECOKI INDEX	톤	월
			호주	QLACEXTT INDEX		
			호주 → 중국	QLACEXCN INDEX		
			중국	CCECEQTL INDEX		
			인도네시아	IDEEBITK INDEX		
			인도네시아 → 중국	IDEEBICH INDEX		
4	유연탄 수입		중국	CANIVCOAL INDEX		
			일본			
			대만	TWCKTOTL INDEX		
			인도네시아	IDEECOK INDEX		
			호주	QLACEXTT INDEX		
			호주 → 중국	QLACEXCN INDEX		
			한국	N/A		
5	강우량 (강우량)	호주	Abbot Point	WEAUYBTL ACTU Index	1/100mm	주
			Dalrymple Bay	WEAUYBRK ACTU Index		
			Gladstone	WEAUYBRK ACTU Index		

			Newcastle	WEAATKPN ACTU Index		
			Port Kembla	WEAUYBAS ACTU Index		
		인도 네시아	Tarakan	WER2IDEK ACTU Index		
			Muara Pantai	WER2IDEK ACTU Index		
			Tanjung Bara	WER2IDEK ACTU Index		
			Bontang	WER2IDEK ACTU Index		
			Samarinda	WEIDWRLS ACTU Index		
			Balikpapan	WEIDWRLL ACTU Index		
			Adang Bay	WER2IDEK ACTU Index		
			North Pulau Laut	WER2IDSK ACTU Index		
			Taboneo	WEIDWRBB ACTU Index		
5	강우량 (강우량)	러시아	Vostochny	WERUUHWW ACTU Index	1/100mm	주
			Vanino	WER3RUKV ACTU Index		
		남아공	Richards Bay	WEZAFADN ACTU Index		
		캐나다	Prince Rupert	WECNCYPR ACTU Index		
			Roberts Bank	WECNCYVR ACTU Index		
		콜롬비아	Puerto Bolibar	WECOSKBQ ACTU Index		
		중국	Shanghai	WER2CISG ACTU Index		
			Beijing	WER2CIBE ACTU Index		
			Guangzhou	WECIZGGG ACTU Index		
			Qinhuangdao	WECIQING ACTU Index		
			Huanghua	WECITIAN ACTU		

			Index		
		인도	- WER1IN00 ACTU Index		
		유럽	- WER1CAEU ACTU Index		
		일본	- WER1JP00 ACTU Index		
6	환율	호주 (AUD)	USDAUD Index	USD	일
		인도네시아 (IDR)	IDR Curncy		
		러시아 (RUB)	RUB Curncy		
		남아공 (ZAR)	ZAR Curncy		
		미국 (USD)	USD Curncy		
		캐나다 (CAD)	CAD Curncy		
		콜롬비아 (COP)	COP Curncy		
7	세계 경제	GDP	Global	WGDPWRLD Index	Value/Billions
			유럽	WGDPEURO Index	
			미국	WGDPUS Index	
			일본	WGDPJAPA Index	
			한국	WGDPKORE Index	
			인도	WGDPINDI Index	
			베트남	WGDPVIET Index	
7	세계 경제	증시	나스닥	CCMP Index	Point
			다우존스	INDU Index	
			S&P 500	SPX Index	
			닛케이 225	NKY Index	
			토픽스	TPX Index	
			STOXX50	SX5E Index	
			STOXX600	SXXP Index	
			BE 500	BE500 Index	
			상하이종합지수	SHCOMP Index	
			항생지수	HSI Index	
			코스피	KOSPI Index	
			코스닥	KOSDAQ Index	
			ASX200	AS51 Index	
			ASX	AS30 Index	
7	세계 경제	증시	브라질	IBOV Index	Point
			캐나다	SPTSX Index	
			인도	SENSEX Index	

			베트남	VNINDEX Index		
			영국	UKX Index		
			프랑스	CAC Index		
			포르투갈	PSI20 Index		
			이탈리아	FTSEMIB Index		
			독일	DAX Index		
			스페인	IBEX Index		
			스위스	SMI Index		
			그리스	ASE Index		
8	운임		BDI	BDIY INDEX	USD	일
			BCI	BCIY INDEX		
9	타에너지 현물가격		WTI	USCRWTIC Index	USD/bbl	
			두바이	PGCRDUBA Index	USD/bbl	
			BRENT	EUCRBREN Index	USD/bbl	
			LNG	NGUSHHUB Index	USD/MM Btu	
			구리	LMCADY LME Comdty	USD/MT	
			철광석	IOECAU62 Index	USD/ ton	
10	타에너지 선물가격		WTI	CLK2 Comdty	USD/bbl	
			두바이	OQAAOQA3 Index	USD/bbl	
			BRENT	CO1 Comdty	USD/bbl	
			LNG	NRGSNG12 Index	USD/MM Btu	
			구리	LMCADS03 LME Comdty	USD/MT	
			철광석	IROJ2 Comdty	INR/MT	
11	중국내수		재고량	CNINCOA% Index	Percent	일
			내수가격	MCDSISCP Index	CNY/ ton	
			수입량	CNIVCOAL Index	Volume / MT	
12	전기생산량		일본	INCGGESA INDEX	MW/h	
			한국	N/A	MW/h	
			중국	CHENELEC INDEX	Billion KW/h	
			인도	WENQINDQ INDEX	MU(GW/h)	

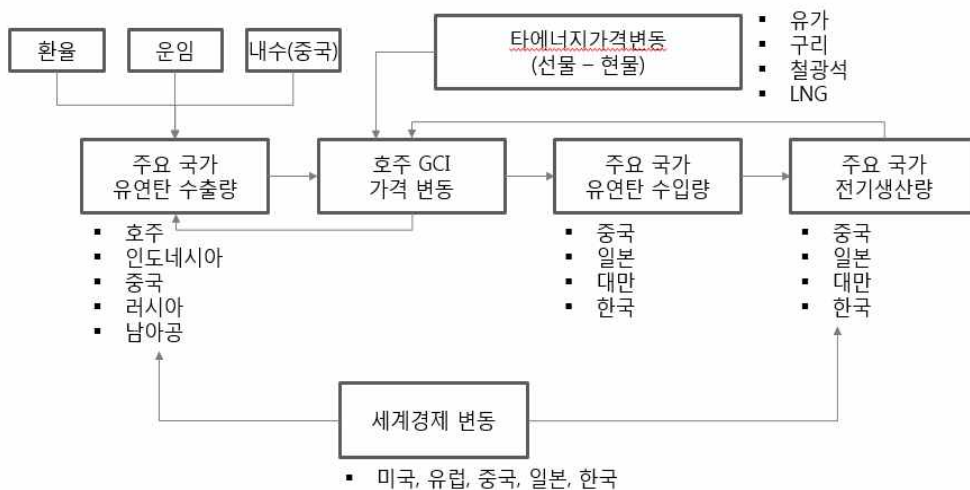
3.3 Value driver tree 분석

수요 변화 Driver간의 인과관계 분석 및 상관성 분석을 실시하여 여러 Driver 간의 역학 관계를 파악하고 동적 모형 개발을 위한 인과관계 지도의 기초 정보를 제공한다.

공급과 수요의 변동에 따른 호주 유연탄 가격 변동을 기반으로 앞으로의 유연탄

가격을 예측할 수 있도록 Value Drive Tree를 구성하였다.

<그림 11> Value driver tree 분석



유연탄 가격은 기본적으로 유연탄의 수요와 공급에 의해서 결정되며, 이는 Value Driver Tree에서 유연탄의 수출과 수입으로 모형을 구성한다.

1) 유연탄수출량

유연탄 가격은 기본적으로 수요와 공급에 의해서 결정이 되며, 유연

탄 공급과 유연탄 가격은 음의 상관관계를 가지고 있다. 유연탄 공급에 대한 자료는 연 단위 자료만 존재하여 사용할 수 없으며, 유연탄 공급은 유연탄 수출과 동일한 개념으로 사용할 수 있다. 호주 유연탄 가격에 영향을 미치는 주요 국가들에 대한 유연탄 공급을 모델에 반영하였으며, 주요 국가들에는 호주, 인도네시아, 중국, 러시아, 남아공이 해당한다.

2) 유연탄 수입량

유연탄 가격을 예측하기 위해서 유연탄 수요에 대한 분석이 필요하며, 유연탄 수요와 유연탄 가격은 양의 상관관계를 가지고 있다. 유연탄 수요에 대한 자료는 역시 연 단위 자료만 존재하여 사용할 수 없으며, 유연탄 수입은 유연탄 수요와 동일한 개념으로 사용할 수 있다. 호주 유연탄 가격에 영향을 미치는 주요 국가들에 대한 유연탄 수요를 모델에 반영하며, 주요 국가들에는 세계 4대 유연탄 수입국인 중국, 일본, 한국, 대만이 해당한다.

3) 전기생산량

유연탄 중 연료탄의 수입은 발전소에 의해 이루어지며, 발전소에서는 전기를 생산하기 위해서 유연탄을 수입한다. 따라서, 국가별 전기생산량에 따라서 유연탄 수입량이 달라지며, 이는 다시 유연탄 가격에도 영향을 미치는 구조를 가지고 있다. 즉, 국가별 전기생산량이 증가하면 증가할수록 향후 유연탄 수요가 증가하여 유연탄 가격은 상승할 가능성이 있으며, 반대로 국가별 전기생산량이 감소한다면 유연탄 가격은 하락할 가능성이 있다. 호주 유연탄 가격에 영향을 미치는 주요 국가들의 전기생산량을 모델에 반영하였으며, 주요 국가들은 세계 유연탄 4대 수입국인 중국, 일본, 한국, 일본이 해당한다.

4) 세계경제변동

세계 경제 변동은 유연탄의 전체적인 수요와 공급에 영향을 미침으로써 수입과 수출에 모두 영향을 미칠 수 있다. 세계 경제 변동을 파악하기 위해서 국가별 증시 변동을 데이터로 입력하였으며, 미국, 유럽, 일본, 중국, 한국의 증시 자료를 활용하였다.

5) 타에너지 가격변동

유연탄 이외에 에너지 자원으로 사용되는 석유, 철광석, 구리, LNG 등의 가격은 유연탄과 유사한 패턴으로 움직이는 경향이 있다. 타에너지 가격의 선물 가격과 현물 가격을 비교하면 향후 에너지 가격이 상승할 가능성이 높은 것인지 또는 하락할 가능성이 높은 것인지에 대한 대략적인 파악이 가능하다. 이 때 선물 가격이 현물 가격보다 높다고 하여서 단순히 향후 시장 가격이 상승할 것으로 예측하는 것은 아니며, 선물 가격과 선물 가격의 차이의 비중을 고려하여 향후 유연탄 가격을 예측하기 위한 지표로 활용하였다.

6) 환율

환율은 유연탄 가격에 직접적으로 영향을 미치지 않는으나, 국제시장에서의 거래는 기축통화의 역할을 수행하고 있는 달러화와 자국화폐로 이루어지므로, 달러화에 대한 국가별 환율은 유연탄 수출량에 영향을 미치는 요인 중의 하나이다. 따라서, 주요 국가의 유연탄 수출량을 산정할 때 국가별 환율이 영향을 미칠 것으로 모델을 구성하였다.

7) 해상운임

유연탄 가격 중 해상운임이 차지하는 비중은 약 20 % 수준으로 높은

편이며, 이는 유연탄 가격에 직접적인 영향을 미치므로 모형에 반영하였다. 건화물선의 대표적인 운임지수인 B야(Baltic Dry Index)는 2008년 5월 사상 최고 수준에서 7개월이 지난 2008년 10월에는 1/20 수준으로 급락하는 등 매우 심한 변동성을 가지고 있으므로 시간의 변화에 따른 지속적인 신규 정보 관리가 필요하다.

8) 중국내수

중국은 유연탄 시장에 있어서 가장 큰 수입국이자 생산국으로서 향후 유연탄 시장에 미치는 영향력이 점점 증대할 것으로 판단된다. 특별히 중국 내수 가격에 따라서 유연탄의 수입과 생산 여부가 결정되므로 중국 내수 가격을 모델에 반영하였다.

3.4 Key driver 정의

유연탄 가격에 대한 영향력과 변동성을 기준으로 수요 변화 Driver들을 평가하고 유연탄 가격에 대한 설명력이 높은 변수들을 Key Driver로 정의한다. Key Driver 선정은 변수의 중요도와 Data 적합성을 기준으로 2X2 Matrix를 구성하여 최종적으로 선정하였다.

1) 선별적 선정 : 중요도는 높으나 Data 적합성이 부족하므로 동일한 의미를 가지고 있는 다른 변수를 선별적으로 선정한다.

2) 선정제외 : 변수의 중요도와 Data 적합성이 모두 낮은 수준이므로 Key Driver 선정에서 제외한다.

3) 직접적 key driver : Data 적합성과 중요도가 모두 높으므로 유연탄 가격에 직접 영향을 미치는 Key Driver 로 선정한다.

4) 간접적 key driver : Data 적합성은 높으나 중요도가 낮으므로 유

연탄 가격에 간접적으로 영향을 미치는 Key Driver로 선정한다.

5) Data 적합성 이슈

● 수요공급

시물레이션 분석을 위해서는 월 단위의 Data 집계가 필요하나 현재 Bloomberg에서 제공되고 있는 Data에는 연 단위로만 집계되어 시물레이션 분석에 적합하지 않다. 유연탄 가격예측 모형에서는 유연탄 수요를 주요 유연탄 수입 국가들의 수입량으로, 유연탄 공급은 주요 유연탄 공급 국가들의 수출량을 활용하여 유연탄의 수요 및 공급에 대한 Key Driver로 정의하였다.

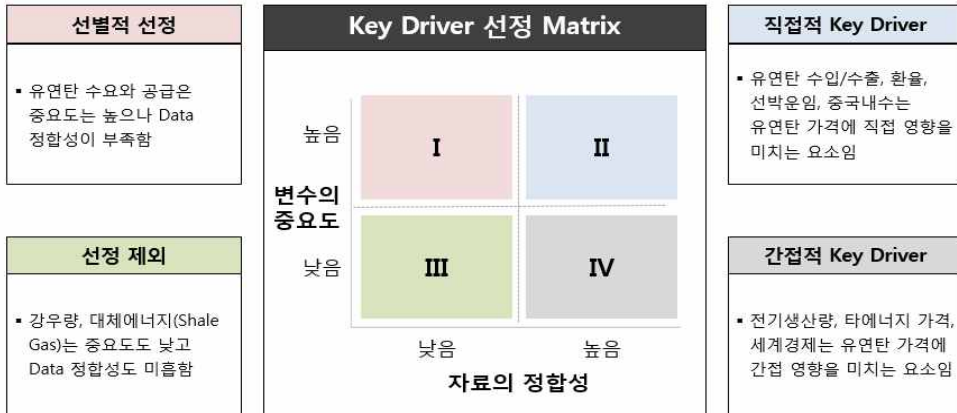
● 강우량

강우량이 유연탄 가격에 영향을 미치는 경우가 발생하나, Bloomberg Data에서 표시되는 강우량이 정확하게 어느 지역을 표시하고 있는지 파악하기 어렵다. 향후 6개월 또는 1년 동안의 유연탄 가격을 예측하고자 할 때 해당 지역에 대한 강우량을 예측하는 것은 불가능하며 의미가 없다. 유연탄 가격 예측 모형은 향후 6개월에서 1년 동안의 유연탄 가격 변화 트렌드를 파악하는데 주된 목적이 있으므로 강우량은 Key Driver 선정에서 제외하였다.

● 대체에너지

최근 석탄의 대체 에너지로 주목을 받고 있는 Shale Gas의 경우 월 단위 생산실적에 대한 신뢰성 있는 자료가 부족하여 Data 적합성이 미흡하다. 또한, Shale Gas로 인한 대체 효과는 주로 고열량탄에서 발생함에 따라 가격 예측의 대상이 되는 호주 유연탄에 대해서는 큰 영향을 미치지 않고 있으므로 변수의 중요성도 낮은 것으로 판단된다.

<그림 12> Key driver 선정

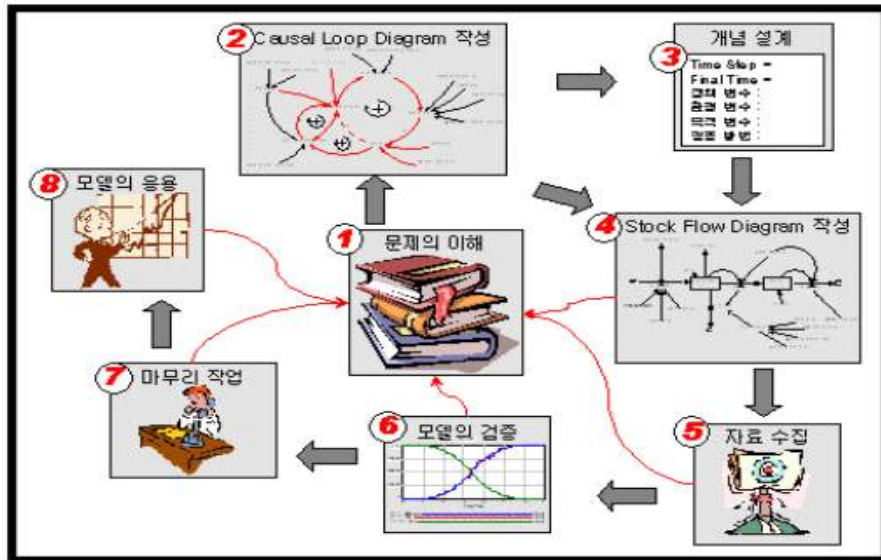


제 4 장. 연구 방법론

4.1 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스는 미국 MIT 대학의 Jay W. Forrester 교수가 개발한 컴퓨터 기반의 정책분석 및 설계 방법으로 복잡한 사회시스템 내의 상호 의존, 상호 작용, 정보 피드백, 순환의 인과관계에 의해 형성되는 경영, 경제 또는 생태시스템의 동적인 문제를 분석하고 예측하는데 활용된다. 시스템 다이내믹스(system dynamics)는 시스템 사고(system thinking)와 시뮬레이션(simulation)으로 구성된다. 전자는 분석하고자하는 현상을 시스템으로 이해하는 관점을 의미하고, 인과지도(causal map)를 구성함으로써 시스템에 내에 들어있는 '피드백 순환(feed back loop)'들을 발견하는데에 초점을 둔다. 후자는 그 시스템에 속해 있는 변수들간의 관계를 모델링하여 컴퓨터 프로그램을 통해 동태적 피드백(feed back)을 실험하는 것을 의미하며, 시스템 사고에서 분석한 피드백 순환들을 보다 정교하게 모델화 하여 '동태적 행태 유형(dynamic pattern of behavior)을 발견하는데 초점을 둔다(김동환, 1999). 이를 시스템 사고는 부드러운 연구방법으로 시뮬레이션은 딱딱한 연구방법으로 구분되기도 한다(신근섭, 2006).

<그림 13> 시스템 다이내믹스 개요



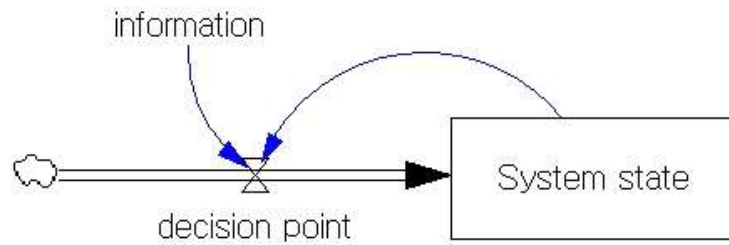
본 연구에서 채택한 시스템 다이내믹스 방법은 기존 계량 연구 방법과 차이를 가진다. 회귀분석과 같은 기존 계량 연구 방법의 경우, 변수들 간의 관계를 이해함에 있어 선형적 인과관계를 증명하는데 강점을 가지며, 현상에 대한 단기적 분석을 통해 부분적인 체계를 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 그에 비해 시스템 다이내믹스는 문제에 대한 시스템적 접근을 통해서 시스템을 구성하는 요소들간의 영향관계가 동태적인 시간의 흐름에 따라 변화하는 방식을 관찰하고, 궁극적으로 관찰하고자하는 시스템 전체에 영향을 주는 변수를 파악하고 이해하는데에 유리하다.(김기찬 2007)

<표 3> 일반 연구방법론과 시스템 다이내믹스 방법론의 차이

일반 연구 방법론	시스템 다이내믹스 방법론
부분적 시스템 정태적, 단기적 분석 회귀 분석(Regression Analysis) 계량 경제분석(Econometric Analysis)	전체적 시스템 동태적, 장기적 분석 인과지도(Causal loop Diagram) 시스템 다이내믹스(system dynamics)

시스템 다이내믹스 모델링은 의사결정(decision-making)에 관한 모델링에 있어 강점을 가지며, 의사결정은 저장(Level 혹은 Stock)과 유량(Rate 혹은 Flow)의 관계에 의해 표현될 수 있다. (김도훈 외, 1999). 저장변수는 시간에 따라 누적된 값을 가지며, 시간의 흐름의 형태를 띤 유량변수에 의해서 유입(Inflows)과 유출(Outflows)의 증감이 일어나게 된다. 이는 욕실의 욕조와 수도꼭지로 비유되며, 욕조가 저장이라면 수도꼭지는 증가유량으로 볼 수 있다. 전자의 값은 시간에 따라 변화하고 그 값이 축적되지 않는데 반해 후자의 값은 시간에 따라 축적된다. 배수구를 열었을 때, 욕조에서 물이 시간에 따라 물이 줄어드는 것을 감소유량이라 할 수 있다. “현재 욕조에 있는 물의 양”은 저장이며, “유입되는 물의 양”은 유량이다. 욕조에 물을 얼마나 많이 받을 것인가, 즉 목표로 하는 물의 양이 의사결정 변수가 되며 시스템 다이내믹스 모델링에서는 이를 “보조변수(auxiliary variable)”이라고 부른다. 의사결정자는 저장의 변화를 보고서 지속적으로 의사결정을 수행한다.

<그림 14> 의사결정 지점에 관한 시스템 다이내믹스 모형, (김동환, 2011)



결국 의사결정 지점(decision point)과 의사결정으로 인해 영향을 받는 현실의 상태(state)는 각각의 시스템 다이내믹스 모델링에 있어서 유량과 저량으로 반영되며, 의사결정을 위한 정보(information)는 저량과 보조변수로 표현되어 유량으로 투입되며, 이를 통해 피드백 루프가 형성된다. 즉 시스템 다이내믹스는 모든 의사결정은 피드백 루프를 형성하는 것으로 이해하며, 피드백 루프의 관점에서 모델링을 수행한다(이동환, 2011).

제 5 장. 모델링과 시뮬레이션

5.1 변수

시스템 다이내믹스 모델 시뮬레이션을 위해 정의한 변수는 다음과 같다.

<표 4> 변수 정의

변수	정보
GCI	호주 유연탄 가격
BCI	운임
currency	환율
export	수출
import	수입
generation	전기 생산량
oil	유가
copper	구리 가격
LNG	LNG 가격
SMC	증시
SMCR	증시 증감율
GDP	해당 국 GDP

5.2 시스템 다이내믹스 모델

1) 모델 수립(Casual Loop)

호주 유연탄 수요에 영향을 미치는 변수들은 전기 수요, 국가별 수출량 및 수출 규제, 국제 유가 등으로 매우 다양하다. 호주 유연탄 가격은 인도네시아, 중국, 러시아 유연탄 공급에 의해서도 영향을 받는다. 만약 러시아, 인니, 중국에서 수출규제가 일어나면 호주 유연탄 수요가 증가하므로 호주 유연탄 가격이 상승하게 된다.

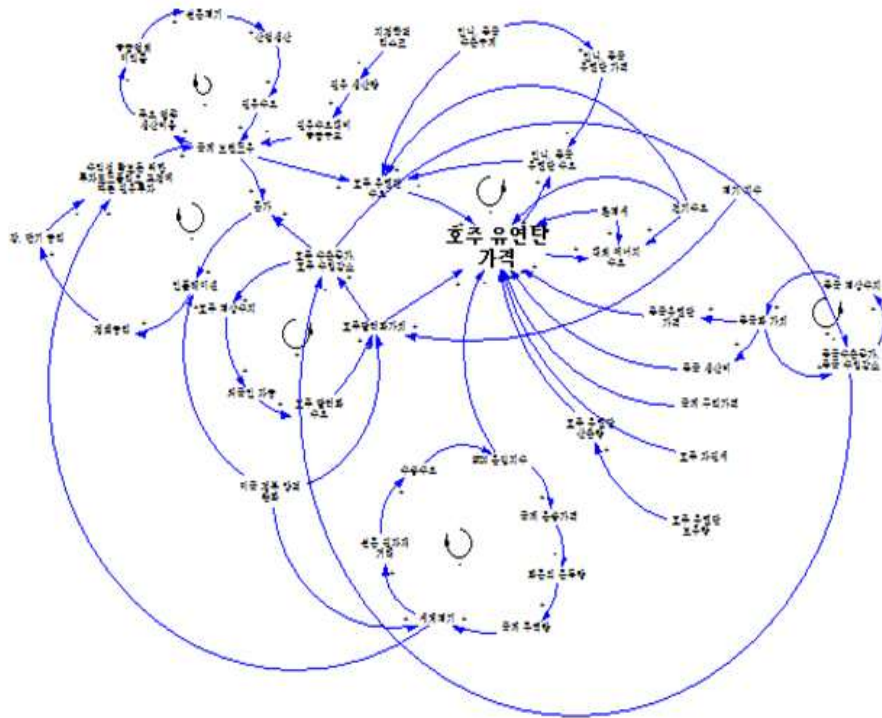
국제유가가 올라가면 주요 업종 생산비용이 올라가고 주요 업종 생

산비용이 올라가면 공급업체 이익률이 감소한다. 공급업체 이익률이 감소하면 실물경기가 올라가고 또한 산업생산량도 많아진다. 이러한 관점에서 원유수요는 증가하며 결과적으로 국제유가도 상승하게 된다.

반대로 지정학적 리스크가 생기면 원유 생산량이 감소하므로 원유수요대비 공급규모는 증가하고 국제 브렌트유는 떨어진다. 국제 브렌트유가 올라가면 물가도 올라가게 된다. 물가가 올라가면 인플레이션이 되고 이에 따라 정책금리도 상승하게 된다. 이러한 관점에서 장, 단기 금리도 상승하고 수익성 확보를 위한 투자포트폴리오 조정에 따른 원유투자는 감소하게 된다. 따라서 국제 유가는 하락하게 된다.

호주 유연탄 가격에 영향을 끼치는 요소는 중국 유연탄 가격이 있다. 중국 유연탄 가격은 중국화 가치에 영향을 받는데 중국화 가치는 중국 수출증가/수입감소, 경상수지에 또한 영향을 받는다. 또한 호주 유연탄 가격은 호주 유연탄 산출량, 호주 자원세, 국제 구리가격, 중국 생산비, 환경세 등으로부터 영향을 받는다. 호주 유연탄 가격이 상승하면 대체 에너지 수요가 커지고 이러한 대체 에너지는 전기수요와 환경세가 상승하면 또한 커지게 되어 있다. 이러한 다양한 변수들 간의 관계를 고려하여 유연탄 가격예측 동적 모형 수립을 위한 Casual Loop Diagram을 아래와 같이 작성하였다.

<그림 15> Casual Loop Diagram



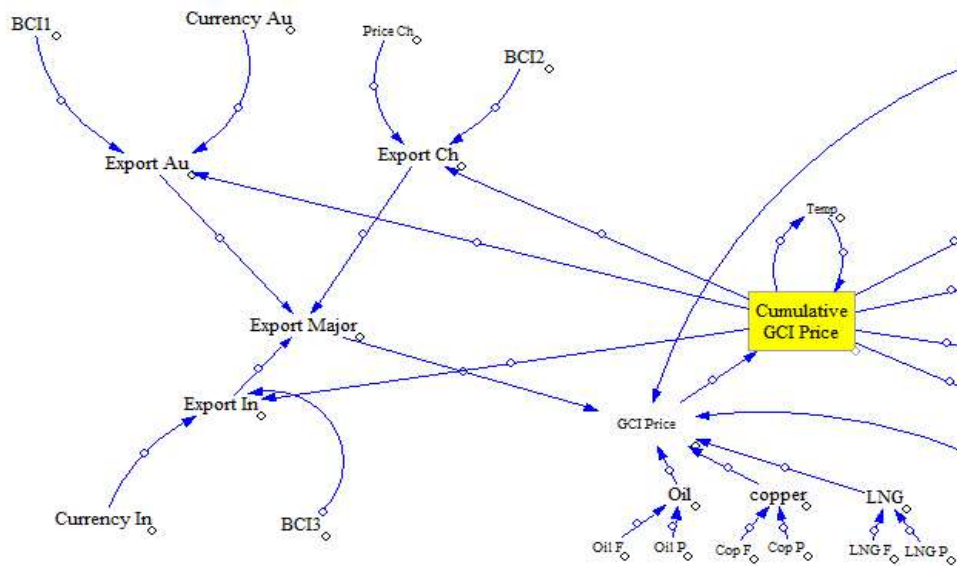
본 causal loop는 앞 절에서 도출한 요인에 기반하여 작성하였으나 현실적으로 모든 변수에 대한 자료를 구하여 검증하기 어려운 부분이 있다. 따라서 본 연구에서는 이론적으로 causal loop를 작성하는데 의의를 두도록 하고 실질적인 시뮬레이션을 위한 모델은 위 요소들 중 핵심이 되는 요인들을 위주로 접근 가능한 데이터를 구성해 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 한계점은 차후 연구에서 보완해야할 점으로서 지속적인 연구가 이루어져야할 것이다.

2) 시스템 다이내믹스 모델

위에서 정의한 변수들을 이용해 Vensim 모델링을 하였다. 모델은 크게 1) 각국 수출량, 2) 각국 전기생산량, 3) 타에너지 변동 및 세계경제 변동의 세 부분으로 나눌 수 있다. 외부에서 입력한 파라미터들에 의해 각국 수출량, 전기생산량, 타에너지 및 세계경제 변동의 변수값이 결정되며, 이 변수들에 의해 GCI값이 결정된다. 이렇게 결정된 GCI값이 또 다시 변수들의 값에 영향을 미치는 식의 loop가 형성되어 모델이 구성된다.

한 변수를 종속변수로, 그 변수에 영향을 미치는 요인들을 독립변수로 설정하여 회귀분석을 수행하였으며, 이를 변수간의 관계식으로 설정하였다. 아래 그림과 표는 이를 나타낸다.

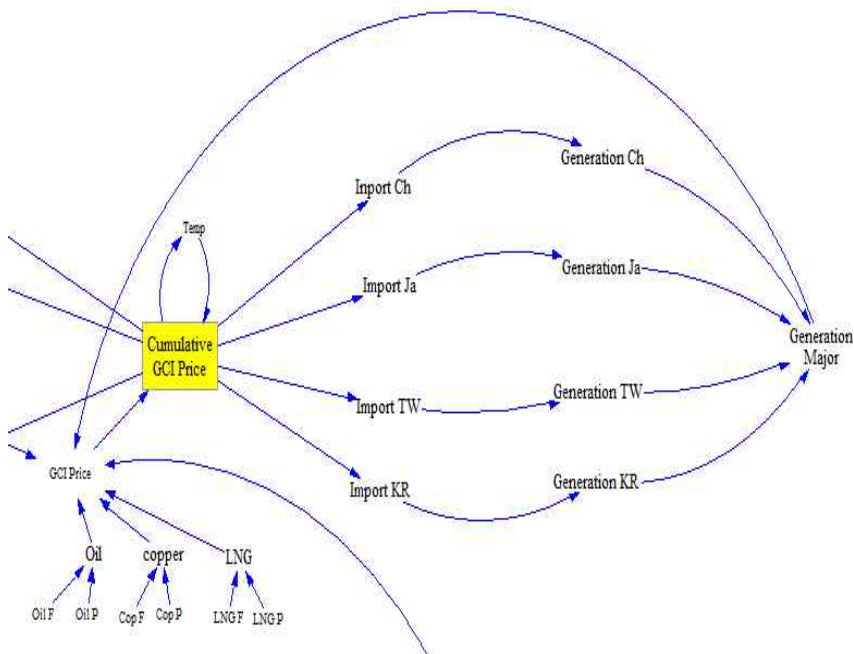
<그림 16> 시스템 다이내믹스 모델 - 각국 수출량



<표 5> 종속변수와 독립변수간 회귀식 - 각국 수출량

종속변수	독립변수	회귀식
중국 수출량	운임2(BCI), 중국내수, GCI 가격	$-14.424 + 1.133 * GCI$ $Price - 0.058 * BCI2 - 0.091 * Price\ Ch$
호주 수출량	호주 환율, 운임1, GCI 가격	$1586.29 - 7.036 * GCI$ $Price + 3.313 * Currency\ Au + 1.196 * BCI1$
인도네시아 수출량	인니 환율, 운임3, CGI 가격	$-1407.23 + 4.646 * GCI$ $Price + 0.39 * BCI3 + 16.912 * Currency\ In$
주요(major) 3개국 수출량	인도네시아수출량, 중국수출량, 호주수출량	인도네시아수출량+중국수출량+호주수출량

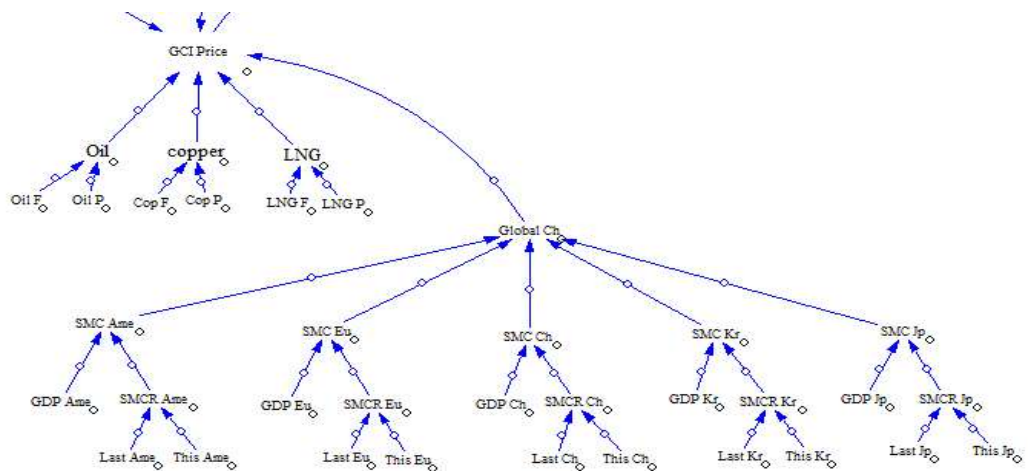
<그림 17> 시스템 다이내믹스 모델 - 각국 전기생산량



<표 6> 종속변수와 독립변수간 회귀식 - 각국 전기생산량

종속변수	독립변수	회귀식
중국수입량	GCI Price	중국수입량 = $-31093.2 + 759.091 * \text{GCI Price}$
일본수입량	GCI Price	일본수입량 = $22786 - 323.908 * \text{GCI Price}$
대만수입량	GCI Price	대만수입량 = $1914.76 - 27.433 * \text{GCI Price}$
한국수입량	GCI Price	한국수입량 = $-2130.79 + 135.917 * \text{GCI Price}$
중국생산량	중국수입량	중국생산량 = $409.521 - 0.0076 * \text{중국수입량}$
일본생산량	일본수입량	GenerationJa = $14.8177 + 0.2514 * \text{일본수입량}$
대만생산량	대만수입량	Generation TW = $857.101 - 0.5128 * \text{대만수입량}$
한국생산량	한국수입량	Generation KR = $289.863 + 0.1255 * \text{한국수입량}$
주요4개국 전기생산량	중국전기생산량, 일본전기생산량, 대만전기생산량, 한국전기생산량	= 대만전기생산량+일본전기생산량+중국전기생산량+한 국전기생산량

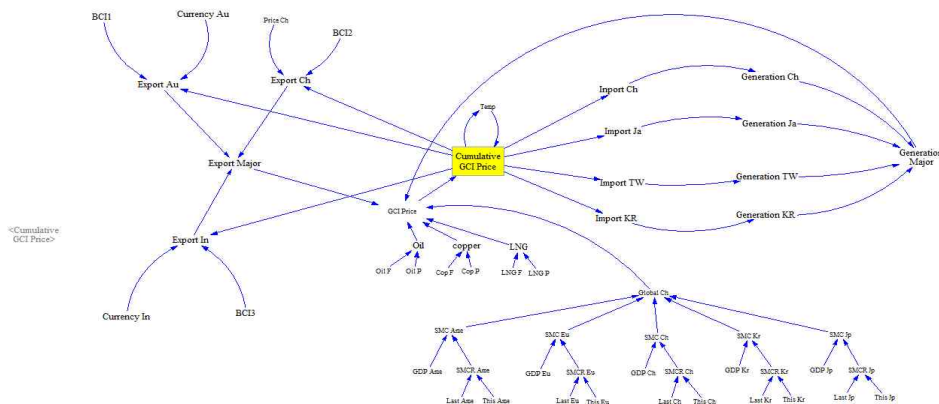
<그림 18> 시스템 다이내믹스 모델 - 타에너지변동 및 세계경제변동



<표 7> 종속변수와 독립변수간 회귀식 - 타에너지변동 및
세계경제변동

변수	관계식
유가	$\text{Oil} = 100 * (\text{Oil F} - \text{Oil P}) / \text{Oil P}$
구리가격	$\text{copper} = 100 * (\text{Cop F} - \text{Cop P}) / \text{Cop P}$
LNG가격	$\text{LNG} = 100 * (\text{LNG F} - \text{LNG P}) / \text{LNG P}$
미국 증시변동	$\text{SMCR Ame} = 100 * (\text{This Ame} - \text{Last Ame}) / \text{Last Ame}$
유럽 증시변동	$\text{SMCR Eu} = 100 * (\text{This Eu} - \text{Last Eu}) / \text{Last Eu}$
중국 증시변동	$\text{SMCR Ch} = 100 * (\text{This Ch} - \text{Last Ch}) / \text{Last Ch}$
한국 증시변동	$\text{SMCR Kr} = 100 * (\text{This Kr} - \text{Last Kr}) / \text{Last Kr}$
일본 증시변동	$\text{SMCR Jp} = 100 * (\text{This Jp} - \text{Last Jp}) / \text{Last Jp}$
세계 경제 변동	$\text{Global Ch} = \text{SMC Ame} + \text{SMC Eu} + \text{SMC Ch} + \text{SMC Kr} + \text{SMC Jp}$

<그림 19> 시스템 다이내믹스 모델 종합



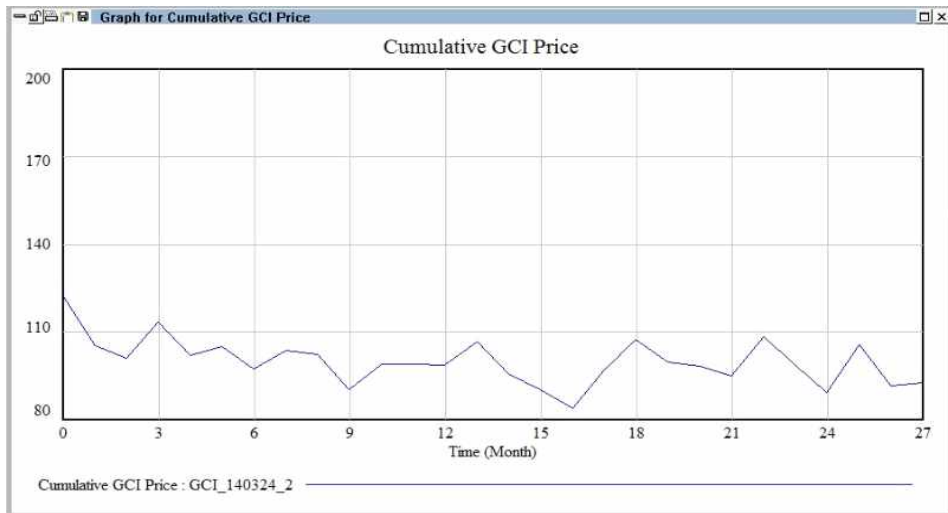
<표 8> GCI 가격결정 회귀분석식

종속변수	독립변수	회귀식
GCI 가격	유연탄 수출량, 전기생산량, 타에너지 변동, 국제경제 변동	$203.074 + 0.034 * \text{Global Ch} - 0.022 * \text{Export Major} - 0.022 * \text{Generation Major} + 0.523 * \text{Oil} - 0.636 * \text{copper} - 0.229 * \text{LNG}$

제 6 장. 결 과

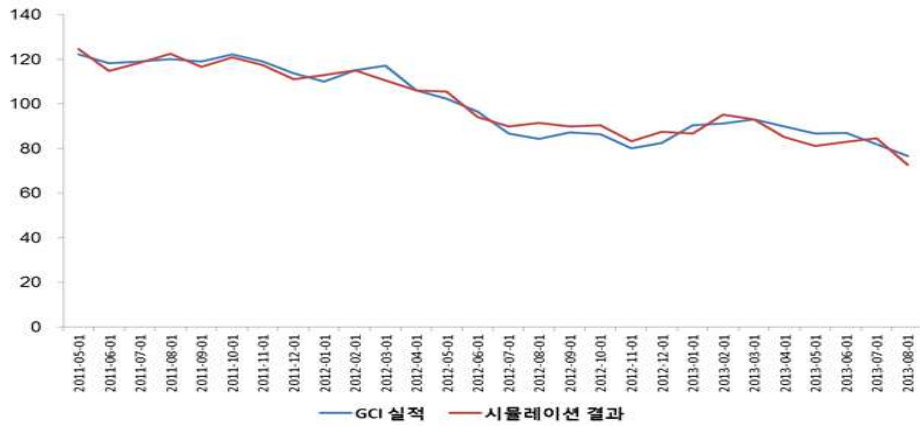
위 모델링에서 구한 회귀식을 이용해 Vensim을 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 그림은 Vensim 통해 직접 수행한 시뮬레이션 결과이다. 이는 가독성이 높지 않고 실제 데이터와 비교가 쉽지 않아 Excel을 이용해 다시 도시하였다.

<그림 20> Vensim 시뮬레이션 결과



다음 그림은 Excel을 이용해 도시한 시뮬레이션 결과이다. 파란선이 실제 GCI값이고 빨간선이 시뮬레이션을 통해 예측한 결과를 나타낸다. 대체적으로 비슷한 추세를 나타냄을 확인할 수 있다.

<그림 21> EXCEL 시뮬레이션 결과



다음 표는 위에서 도기한 시뮬레이션 결과값을 나타낸다.

<표 9> 시뮬레이션 결과 및 절대오차

월	GCI 실적(①)	시뮬레이션 결과 (②)	GAP (③=① - ②)	절대오차 (④= ③)
M1	76.6	72.6	4.0	4.0
M2	82.1	84.6	-2.5	2.5
M3	87.0	83.1	3.9	3.9
M4	86.7	81.2	5.5	5.5
M5	89.9	85.2	4.7	4.7
M6	93.2	93.0	0.1	0.1
M7	96.5	94.1	2.3	2.3
M8	102.4	105.5	-3.2	3.2
M9	106.1	106.2	0.0	0.0
M10	117.2	110.7	6.5	6.5
M11	115.1	115.1	0.0	0.0
M12	110.0	113.1	-3.1	3.1
M13	113.8	111.0	2.8	2.8
M14	119.0	117.5	1.5	1.5
M15	122.2	120.9	1.3	1.3
M16	119.0	116.6	2.3	2.3
M17	120.1	122.6	-2.5	2.5
M18	119.0	118.6	0.4	0.4
M19	118.4	114.9	3.5	3.5
M20	122.3	124.5	-2.2	2.2
절대오차 평균				3.25

시계열 분석을 이용한 모델의 같은 시뮬레이션 결과 평균 절대 오차 값은 ARMA와 VAR 모델에서 각각 10.6, 7.8이 나왔다. 같은 자료를 이용하여 예측한 결과 값을 비교해 볼때 시스템 다이내믹스 결과의 오차가 시계열 모델에 비해 적은 오차를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 다른 요인을 고려하지 않고 오로지 유연탄 가격의 시계열 자료만을 이용해 추세를 예측한 시계열 모델의 한계점을 보여준다고 할 수 있다. 시스템 다이내믹스와 같이 다양한 요인을 종합적으로 고려해야 유연탄 가격 예측과 같은 복잡한 시스템의 매커니즘에 대한 설명력이 높아지는 것은 자명한 결과일 것이다.

제 7 장 결 론

본 연구에서는 시스템 다이내믹스 모델을 이용해 발전된 형태의 유연탄 가격 예측 모델을 제안하였다. 우선 가장 핵심적인 부분은 유연탄 가격에 영향을 미치는 요인 도출이다. 이를 위해 기존의 타 모델에서 사용하던 요인을 재검토하고 기관 보고서, 전문가 인터뷰, 타 광물 예측 시스템을 벤치마킹하여 요인을 도출하였다. 예측 모델의 기본적인 한계점인 예측 오류는 분명 존재하는 것이 사실이다. 하지만 이를 최소화 시키기 위해 최대한 많은 요인을 검토하였으며, 이를 반영코자 노력하였다.

그 다음 도출된 요인을 기초로 개념적 모델인 casual loop를 모델링하였다. 이에 반영된 모든 요인을 활용하여 모델 검정을 하고자 하였으나 자료 수집에 한계가 있었다. 하지만 본 모델의 목적인 유연탄 가격 예측을 하는데에 필요한 핵심 요인은 대부분 반영을 하였으며, 상당한 예측력을 보여준다는 것 또한 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이에 따라 본 연구에서 제안하는 모델이 불완전할 수는 있으나 이는 가격 예측 모델의 태생적 한계를 내포하고 있으며, 향후 꾸준한 자료 수집을 통해 보완해 나가야할 점일 것이다.

참 고 문 헌

- 곽상만 et al (2002), “시스템 다이내믹스 기법을 활용한 차급별 월간 자동차 수요 예측 모델 개발”
- 정석재 et al (2005), “시스템 다이내믹스를 이용한 탄소세 부과가 철강 산업에 미치는 효과 분석”, 한국경영과학회 산업공학회 춘계공동학술대회
- 정재현 (2009), “시스템 시뮬레이션을 통한 원자재 가격 및 운송 운임 모델”, 한국 시스템 다이내믹스연구, 제 10권 1호, pp.61-76
- 정재현 (2008), “자원 수급 및 가격 예측 - 니켈 사례를 중심으로-”, 한국 시스템 다이내믹스연구, 제 9권 1호, pp. 125 - 141
- 윤원철 (2006), “연료용 유연탄에 대한 가격예측력 분석”, 에너지경제연구, 제5권 제2호, pp. 245-272
- 윤원철 (2012), “발전용 유연탄 가격과 여타 상품가격의 동조화 현상에 대한 실증분석”, 에너지경제연구, 제11권 제2호, pp. 57-83
- 권혁수, 정창봉 (2007), “연료가격 불확실성하의 발전용 유연탄 최적조달 기법 개발”, 에너지경제연구원
- 이원우 (2011), “유연탄 시장구조 변화 분석 및 대응전략”, 에너지경제연구원
- 6대 전략광물 수출입 분석 (2013), 한국관세무역개발원
- 국제유연탄시장 동향과 전망 (2009), 에너지경제연구원
- 유연탄 시장구조변화 분석 및 대응전략 (2011), 에너지경제연구원
- 김기찬 외(2007), Vensim을 활용한 System Dynamics, 서울경제경영
- J.W., Forrester (1961), Industrial Dynamics, MIT Press

Abstract

System Dynamics for Advancement Price Estimation System of Bituminous Coal

Won Woo Sung

Business Administration

The Graduate School Seoul University

According to the Top 6 Strategic mineral trade report, the bituminous coal is the most important mineral which accounts for the highest amount and weight since 2002. Recently, the economic growth of China, India and other Asian countries, since the late 2000s, affected the rapid increase of coal imports of these countries and, therefore, the market leader in the international market was transformed from the Europe into the Asia. In this study, we modeled the thermal coal price system, using System Dynamics method, which takes high portion in the bituminous coal market. and which the domestic generation companies directly dealing with. To this end, this paper defines the factors that affect the international bituminous coal

market and taking advantage of the system dynamics model, examines their relationships to develop a model that can predict the international coal.

Keyword : bituminous coal, BDI index, System Dynamics, casual loop

Student Number: 2013-20489